

· 基础研究 ·

反复力竭性运动后不同时相大鼠心电图的动态改变^{*}

王福文¹ 赵敬国² 王纯雨² 胡志力¹ 李 杰¹

摘要

目的:观察大鼠反复力竭性游泳运动前、后不同时相心电图(ECG)的动态改变,以评价运动性心肌损伤的变化规律。

方法:采用经典的 Thomas 的方法通过力竭性游泳运动建立运动性心肌损伤实验动物模型。ECG 检测采用 DSI 植入式心电信号遥测系统。健康无训练的 Wistar 雄性大鼠 24 只,尾部负体重 2% 的负荷,每天游泳运动至力竭状态(一次游泳时间不小于 3h),连续 1 周(7 天)。分别于运动前和末次力竭性游泳运动结束后即刻、1h、3h、6h、12h、24h、48h 和 96h 不同时相记录 ECG。

结果:经 1 周反复力竭性游泳运动后,大鼠心电图主要发生了两种心肌缺血损伤性 ST-T 改变(发生率为 100%)。①运动后即刻大鼠心电图 ST 段明显抬高和 T 波高耸;6h—12h 基本恢复;24h—48h ST 段又有明显抬高,T 波幅度升高、高耸;96h ST 段有所下移,T 波幅度恢复但变窄(发生率为 79.17%)。②运动后即刻心电图 T 波明显低平;运动后 3h—6h ST 段有所下移,T 波逐渐恢复;12h—24h ST 段恢复,T 波双峰、变宽、高耸;48h ST 段显著下移,T 波再次低平,随后动物发生死亡(发生率为 20.83%)。心律不齐发生率为 45.83%。

结论:反复力竭性运动后不同恢复期,大鼠心电图呈现两次周期性损伤性 ST-T 改变,说明大鼠心肌存在有早期和延迟性的损伤性改变,运动心电图对运动性心肌损伤具有重要的诊断意义,为临床诊断和康复治疗提供理论依据。

关键词 力竭性运动;心肌损伤;心电图;DSI 遥测系统;大鼠

中图分类号:R493, R541.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2010)-11-1030-05

The dynamic changes on ECG in different time cases after repeated exhausted exercise in rats/WANG Fuwen,ZHAO Jingguo,WANG Chunyu, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2010, 25 (11): 1030—1034

Abstract

Objective:To study the dynamic changes on electrocardiograms (ECG) in different time periods after repeated exhausted exercise in rats,in order to evaluate the changing rule of exercise-induced myocardial damage.

Method:The animal models of exercise-induced myocardial injury were established according to Thomas's method. Healthy untrained 24 male Wistar rats,with 2% bodyweight attached to each tail,were forced to swim until exhaustive (swimming time exceeded 3 hours daily) for 1 week. ECG (lead II) was recorded and analyzed with DSI cardio-vascular radiotelemetry system at before exercise and immediately,1,3,6,12,24,48 and 96 hours after exhausted exercise in rats.

Result:After 1-week consecutive daily exhausted swimming,the two kinds of ST-T change patterns on ECG were observed as follows in rats (100%): ① Compared with pre-exercise,the ECGs revealed ST segment elevating significantly and great risen T waves at immediately after exhausted exercise, and near to normal level 6 hours later, then ST segment re-elevation with high and sharp T wave at 24,48 hours and ST segment depression with narrow T wave at 96 hours post-exercise(79.17%).②The ECGs in rats showed obviously T wave flat at immediately post-exercise, ST segment depression with T wave recovering gradually at 3,6 hours post-exercise,then ST segment

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2010.11.003

^{*} 基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2009CM089),山东省教育厅科技计划项目(J07YE09)

1 山东省医学科学院药物研究所,山东省现代医用药物与技术重点实验室,济南,250062; 2 山东师范大学体育学院

作者简介:王福文,男,理学硕士,副研究员; 收稿日期:2009-11-24



recovering with wide and soaring double-peak T wave at 12,24 hours later,and significant ST segment depression associated with T wave flat at 48 hours post-exercise, finally the rats died (20.83%).The arrhythmia takes place (45.83%).

Conclusion: The ECGs of rats revealed two cyclic ST-T changes in different phases after exhausted exercise. The results suggest that there are early myocardial injury and delayed-onset myocardial injury in rats, Athletic electrocardiogram have an important diagnosis value on myocardial injury induced-exercise.

Author's address Institute of Materia Medica, Shandong Academy of Medical Sciences, Jinan, 250062

Key words exhausted exercise; myocardial injury; electrocardiogram; DSI radiotelemetry system; rat

近年来,运动性猝死事件不断发生,大强度剧烈运动的猝死率比正常时高 56 倍之多,其中心脏性猝死占 85%左右^[1],且相当一部分猝死出现在运动结束之后。为此,剧烈运动尤其是超长时间的大强度运动和力竭性运动导致心功能和心肌方面的严重医学问题已成为人们日益关注的焦点。对此问题尤其是运动结束后心肌损伤的动态变化规律及其产生机制进行深入细致的研究,对了解心肌对运动的适应规律、预防运动性猝死的发生以及指导全民健身运动的开展均具有重要的理论和实践意义。

运动是一种特殊的生理、病理过程,适度运动可促进人体健康,过度运动则会导致机体受损,尤其是运动性心肌损伤^[2-7],是造成心血管功能受损的因素之一。心电图作为反映心肌电活动的一种常用方法,其 ST-T 改变是心肌缺血或损伤的重要指标,但目前关于力竭性运动结束后不同恢复时相动态变化规律的研究甚少。为此,本研究采用反复力竭性游泳建立运动性心肌损伤实验动物模型,并利用 DSI 植入式心电信号遥测系统观察力竭性运动结束后不同时相大鼠心电图 ST-T 的动态改变,旨在探索运动性心肌损伤的变化规律,为运动性心肌损伤的临床诊断和康复治疗提供一定的理论依据,并为进一步研究运动性心肌损伤的产生机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验动物

Wistar 大鼠 24 只,雄性,体重(254±28)g,由山东鲁抗医药股份有限公司实验动物中心提供,许可证号:SCXK(鲁)20080002。分笼饲养于普通级环境,自由饮水。块状鼠饲料由山东省实验动物中心提供,许可证号:SCXK(鲁)20040014。

1.2 实验仪器

DSI 植入式心电信号遥测系统(包括 CA-F40 植入子;RPC-1 型信号接收板;数据转换器)和数据采集与记录分析系统(Dataquest ART System 2.0),由美国 DSI 公司生产。

1.3 实验方法

1.3.1 PA-C40 心电遥测子的植入: 大鼠经 2.5%戊巴比妥钠腹腔注射麻醉,仰卧固定。在无菌条件下,腹正中线切口 2—3cm,打开腹腔,将 CA-F40 植入子置于腹腔后分层缝合。心电电极的放置采用肢体 II 导联,电极引线置于皮下,固定后缝合伤口。术后 3 天,每天肌注青霉素防止感染并碘酒消毒伤口。恢复 1 周后进行游泳实验。

1.3.2 运动性心肌损伤实验动物模型的建立: 依据经典的 Thomas^[8]的方法通过反复力竭性游泳运动建立运动性心肌损伤实验动物模型。采用高 60cm,直径 55cm 的塑料圆桶作为大鼠游泳槽,水深 50cm 以上,水温(33±2)℃。正式实验前 2 天每天进行 1 次适应性无负重游泳运动,每次 10min。力竭性游泳运动采用尾部负重 2%的负荷,每天游泳运动至力竭状态(实验过程中,一次力竭性游泳时间应不少于 3h),连续 1 周(7 天)。力竭标准采用“经过 10s 后动物仍不能返回水面为标准”^[8],同时观察动物身体状况,当动物运动极度不协调时立即将其从水中捞出^[9],用热风机将皮毛吹干,防止动物生病。

1.4 心电图检测

用 DSI 植入式心电信号遥测系统,分别记录大鼠在正式游泳运动前和末次力竭性游泳运动结束后即刻、1h、3h、6h、12h、24h、48h 和 96h 不同时相清醒自由活动状态下的心电图。记录时,将大鼠放入鼠笼中,鼠笼放置于 RPC-1 型信号接收板。用专用磁性开关将大鼠腹腔内的 CA-F40 植入子置于开启状态。此时植入子发射心电信号,此信号被 RPC-1 型

信号接收板接收,经数据转换器,输入计算机数据采集与记录分析系统进行记录与分析。

1.5 统计学分析

实验数据均采用 SPSS 13.0 统计软件处理,统计结果以平均数±标准差表示。自身前后比较采用配对 *t* 检验,以 *P*<0.05 为有显著性差异标准。

2 结果

2.1 一般状况观察

所有大鼠游泳前活动自如、活泼,皮毛光洁整齐,精神状态好,对外界声光刺激反应灵敏,无异常状态出现。经 1 周反复力竭性游泳运动后,所有大鼠普遍精神严重倦怠,对外界声光刺激淡漠,竖毛、皮毛脱落而不光洁,体型瘦弱,体重明显下降。值得注意的是,体重明显降低(低于体重的 1/4 以上)和活动不很协调的大鼠一般在运动后 48h—72h 间发生死亡,死亡率占所有力竭性运动大鼠的 20.83%(5/24)左右。

2.2 心电图 ST-T 改变情况

经 1 周反复力竭性游泳运动后,所有大鼠心电图主要发生了两种心肌缺血损伤性 ST-T 改变(发生率为 100%)。

2.2.1 第一种心肌缺血损伤性 ST-T 改变。力竭性运动后恢复期一直存活(未死亡)大鼠的 ST-T 改变(发生率 79.17%),见表 1。

与运动前比较,运动后即刻大鼠心电图 ST 段抬高最明显,T 波高耸,随后逐渐降低,6h—12h ST 段和 T 波基本恢复,但 T 波变窄;24h ST 段和 T 波幅度再次逐渐抬高,48h 再次达高峰,96h ST 段基本恢复,T 波幅度恢复但变窄。在整个恢复期间,大鼠

ST-T 发生了两次周期性改变。

2.2.2 第二种心肌缺血损伤性 ST-T 改变。力竭性运动后恢复期内所有死亡大鼠的心电图 ST-T 改变(发生率 20.83%),见图 1—8。

运动后即刻心电图 T 波明显低平,随后 T 波幅度逐渐恢复,但 ST 段有所下移;6h T 波基本恢复;12h ST 段恢复,但 T 波双峰、明显变宽;24h T 波高耸、双峰;48h ST 段显著下移、T 波再次低平,心率缓慢,随后动物发生死亡。

2.3 心律改变情况

1 周反复力竭性游泳运动可导致心律不齐。这种心律不齐出现在运动后即刻—48h,发生率为 45.83%。

图 1 1 周力竭性游泳运动前 ECG

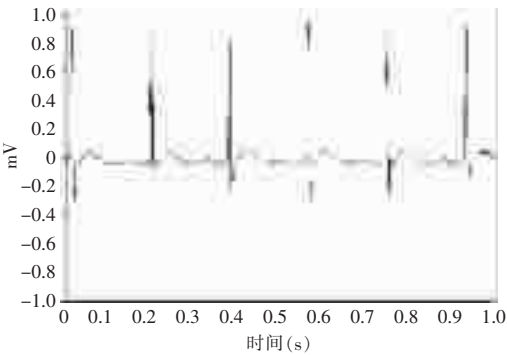


图 2 1 周力竭性游泳运动后即刻 ECG

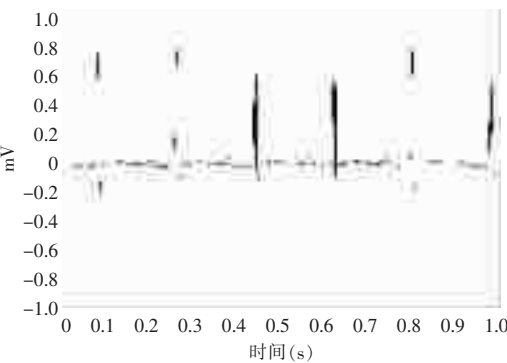


表 1 反复力竭性游泳运动后不同恢复期 ECG ST-T 改变 ($\bar{x}\pm s$, mV)

组别	例数	ST 段抬高幅度	T 波幅度
运动前	19	0.025±0.011	0.059±0.018
运动后即刻	19	0.237±0.034 ^②	0.361±0.035 ^②
运动后 1h	19	0.146±0.033 ^②	0.217±0.021 ^②
运动后 3h	19	0.058±0.021 ^②	0.073±0.011 ^①
运动后 6h	19	0.034±0.021	0.061±0.017
运动后 12h	19	0.017±0.013	0.072±0.015 ^①
运动后 24h	19	0.069±0.027 ^②	0.115±0.028 ^②
运动后 48h	19	0.097±0.027 ^②	0.209±0.030 ^②
运动后 96h	19	0.020±0.015	0.064±0.021

与运动前比较:①*P*<0.05;②*P*<0.01

3 讨论

运动作为一种特殊的应激源^[10],有规律的运动可以引起心脏形态功能产生良好的适应性改变并降低发生心血管疾病的危险性^[7]。过度运动则会造成心脏损害^[7]甚至猝死。因此,在运动过程及其恢复期,如何避免运动对机体心血管的损害和动态监测运动性

图3 1周力竭性游泳运动后1h ECG

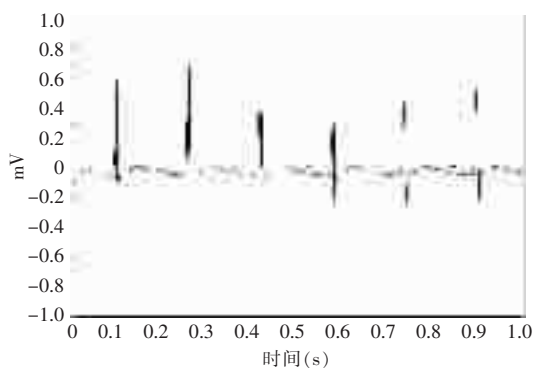


图4 1周力竭性游泳运动后3h ECG

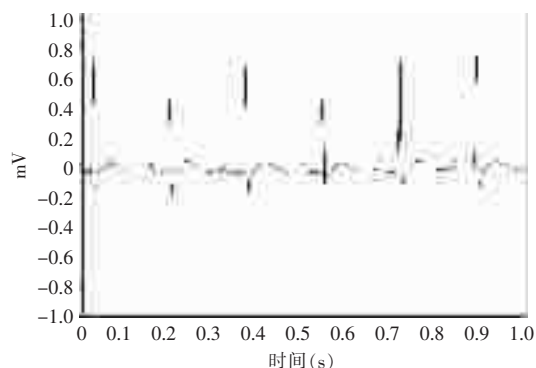


图5 1周力竭性游泳运动后6h ECG

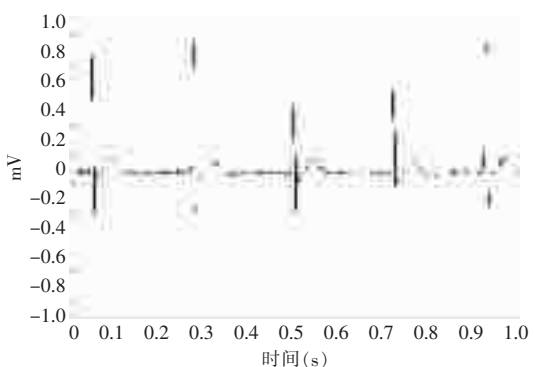


图6 1周力竭性游泳运动后12h ECG

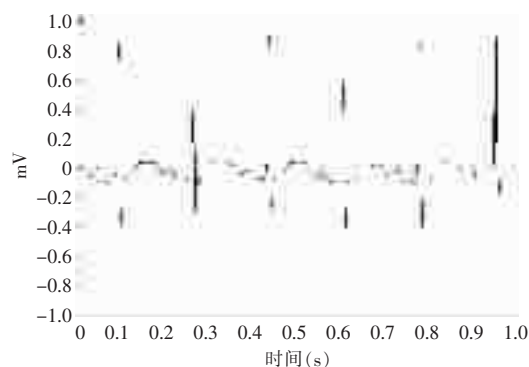


图7 1周力竭性游泳运动后24h ECG

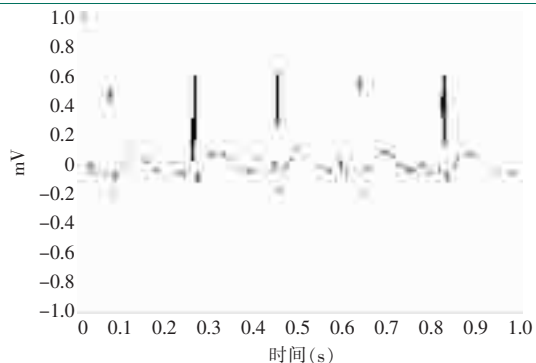
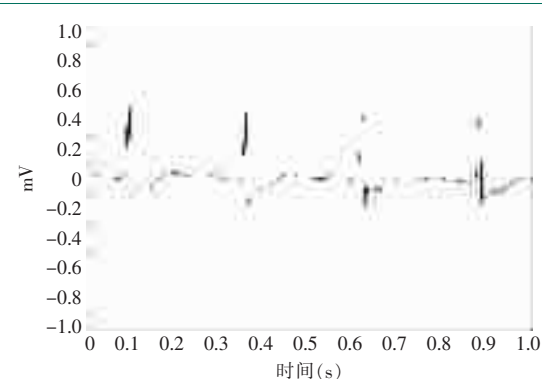


图8 1周力竭性游泳运动后48h ECG



心肌损伤的发生及其针对性地康复治疗是运动医学工作者亟待解决的重点问题之一。

心电图检查是临床检查中发现心脏损害最常用的手段之一。运动员经过多年的运动训练,由于心脏负荷增加,心脏的电生理功能发生相应的改变,使其心电图也发生相应的适应性改变,如左室高电压、不完全性右束支传导阻滞等,但大多数是正常生理变异,属于功能性调节,是运动员良好心力储备的表现^[11]。当机体处于长期过度运动时,由于运动

负荷过大,超出机体的承受能力,从而导致持续性的心肌缺血缺氧性改变而引发运动性心肌损伤、心律失常等,其心电活动也发生了相应改变。

3.1 过度运动引起ST段改变

运动引起ST段改变是评估冠心病心肌缺血的常用方法,它常作为一个可逆性心肌缺血的标志,提示机体运动过度。本研究结果表明,经1周反复力竭性游泳运动后,79.17%大鼠心电图出现ST段明显抬高-恢复-再抬高-再恢复;20.83%大鼠心电图出

现 ST 段下移-恢复-明显下移-死亡的周期性变化。ST 段代表心肌早期复极的电位变化,其下移和/或抬高常见于心肌缺血和心肌劳损,这进一步说明了过度运动可导致心肌缺血缺氧性损伤,从而使心电图出现 ST-T 的损伤性改变。但当 ST 段下移显著时,临床上要时刻预防运动性猝死的发生,必要时对症处理。

3.2 过度运动引起 T 波改变

心电图 T 波代表心肌复极电位,在其有诊断意义的指标中,T 波变化出现最早,是心肌急性疲劳的标志特征。本实验结果表明,反复力竭性游泳运动后,79.17%大鼠心电图呈现 T 波高耸-恢复-再抬高-再恢复,20.83%大鼠心电图呈现 T 波低平-恢复-高耸、双峰-再低平-死亡的周期性变化,说明 T 波的改变对运动性心肌损伤的临床诊断具有非常重要的意义。因此,在运动训练中除了检测心电图 ST 段改变,更应加强对其 T 波的监测。

有资料表明,缺血性高耸 T 波通常发生于心肌缺血即刻,心肌缺血越严重,T 波增高越显著;也可见于心肌缺血的缓解过程中,是与动作电位 3 相复极异常有关,此时急性心肌缺血区的心肌细胞膜外钾离子浓度增高,快钾外向电流减弱,3 相下降突然而引起的^[12]。它也可以单独出现,但常与损伤型 ST 段抬高同时发生,是急性心内膜下心肌缺血的心电图表现^[12]。本研究的结果表明,损伤型 ST 段抬高和高耸 T 波预示运动性心肌损伤是可逆的,预后较好。

需要特别指出的是,结合本研究结果,当运动结束后,T 波显著低平或宽大双峰并伴随损伤型 ST 段下移通常预示着运动性心肌损伤是不可逆的,其发生运动性猝死的可能性很大。因此,临床上对于这样的运动员一定要密切观察其 ECG 改变,尤其是运动后 24h—48h,最好能够先对症处理,以避免发生运动性猝死。

3.3 运动延迟性心肌损伤的存在

有研究表明,力竭性运动诱发的心肌损伤不仅存在于运动后即刻,而且在运动后的一段时间内也可能存在有延迟性心肌损伤^[9,13-14]。本研究结果表明,经 1 周反复力竭性游泳运动后,所有大鼠心电图均呈现运动后即刻—12h 和 24h—96h 两次周期性损伤性 ST-T 改变,其中以运动后即刻和 48h 为最

典型,说明过度运动所致心电变化具有即刻性损伤和延迟性损伤的特点,从而进一步证实了力竭性运动后恢复期的确存在有延迟性心肌损伤,这是否与运动后心肌缺血再灌注性损伤^[14]和自由基损伤^[15]有关尚有待于进一步研究。

4 结论

反复力竭性运动后,心电图 ST-T 改变主要以运动后即刻和 48h 为最典型,表现为 ST 段抬高和/或下移,T 波高耸、双峰或 T 波低平,提示心电图 ST-T 改变尤其是 T 波变化在临床评价运动性心肌损伤时具有非常重要的诊断价值。

反复力竭性运动后即刻—12h 和 24h—96h 心电图发生两次周期性损伤性 ST-T 改变,进一步证实了即刻性心肌损伤和延迟性心肌损伤的存在。

参考文献

- [1] Creighton W. Sudden cardiac death induced by athletics[J].J Mol Diagn, 2006,8(1):62—67.
- [2] 赵敬国,王福文.力竭性运动后不同时相大鼠心肌形态结构的改变观察[J].中国运动医学杂志,2001,20(3):316—317.
- [3] 王福文,胡志力,李杰.力竭性运动致运动性心肌损伤的产生机制[J].中国临床康复,2005,9(8):144—146.
- [4] 张二箭,张宾.急性力竭性训练致心肌损伤 8 例[J].临床军医杂志,2007, 35(5):725.
- [5] Chen Y,Serfass RC,Mackey-Bojack SM,et al.Cardiac troponin T alterations in myocardium and serum of rats after stressful, prolonged intense exercise [J].J Appl Physiol,2000,88(5):1749—1755.
- [6] Ortega FB,Ruiz JR,Gutiérrez A,et al. Extreme mountain bike challenges may induce sub-clinical myocardial damage [J].J Sports Med Phys Fitness,2006,46(3):489—493.
- [7] 李伟,肖琳,谭欢,等.力竭性运动对大鼠血浆心钠素、内皮素及心肌血供的影响[J].中国康复医学杂志,2008,23(5):426—428.
- [8] Thomas DP,Marshall KI. Effects of repeated exhaustive exercise on myocardial subcellular membrane structures [J].Int J Sports Med,1988,9(4):257—260.
- [9] 赵敬国,王福文.大鼠力竭性游泳运动过程中心电图的动态观察[J].现代康复,2000,4(8):1194—1195.
- [10] 屈红林,陈惠宇.运动引起应激与应激性疾病的研究进展[J].中国康复医学杂志,2008,23(8):768—770.
- [11] 张宝慧.运动员心电图[J].中国运动医学杂志,1986,5(4):247—252.
- [12] 卢喜烈.急性心肌缺血性高耸 T 波[J].心电学杂志,2008,27(1):100—101.
- [13] 陈英杰,彭长虹,郭庆芳,等.剧烈运动后大鼠心肌线粒体内钙、心肌酸性磷酸酶和 β 葡萄糖醛酸酶的动态变化[J].中国运动医学杂志,1998,17(1):4—7.
- [14] 王鑫,陈正东,吴昊,等.力竭游泳运动对大鼠心肌细胞中间纤维和超微结构的影响 [J]. 中国康复医学杂志,2007,22(11):968—970,973.
- [15] 闻剑飞,刘玉倩,王海涛,等.不同强度运动对大鼠自由基代谢影响的研究[J]. 中国康复医学杂志,2009,24(12):1080—1082.